

Sélection de vitrages de fenêtres de type résidentiel pour un rendement énergétique optimal

Par M.M. Armstrong, A.H. Elmahdy, M.C. Swinton et A. Parekh

Ce numéro traite des résultats d'un projet de recherche consacré aux effets de deux types de vitrage à haut rendement (gain solaire faible et gain solaire élevé) sur la consommation d'énergie des résidences.

Les fenêtres influent sur les charges énergétiques des maisons de deux façons : elles permettent à l'énergie solaire de pénétrer dans la maison et à une quantité importante de chaleur de s'en échapper en hiver et d'y entrer en été, car leur valeur d'isolation est largement inférieure à celle des murs extérieurs. Pendant l'hiver, l'énergie solaire peut contribuer au chauffage de la maison, mais, en été, elle entraîne des gains de chaleur excessifs qu'il faut supprimer ou gérer d'une quelconque manière.

Différentes études ont montré que, dans une maison canadienne type pourvue de fenêtres à vitrage double clair, les gains solaires répondent habituellement à 10 % à 27 % des besoins énergétiques totaux de la maison. Cependant, les pertes de chaleur dues à ces mêmes fenêtres pendant la saison de chauffage représentent plus de 27 % des pertes de chaleur totales de la maison.¹

Une manière d'obtenir un meilleur rendement est d'utiliser des vitrages à haut rendement avec enduit à faible émissivité, qui offrent un rendement thermique supérieur à celui du verre clair. Cependant, la gamme de produits permettant de tirer profit du gain solaire offerts sur le marché est très étendue. En effet, on trouve des vitrages à gain solaire faible (GSF), qui réduisent de manière significative la quantité de rayonnement solaire pénétrant dans la maison, ainsi que des vitrages à gain

solaire élevé (GSÉ), qui permettent d'obtenir un gain solaire supérieur. Les fenêtres munies d'un vitrage à GSF fournissent un avantage pendant la saison de climatisation et les fenêtres munies d'un vitrage à GSÉ sont avantageuses pendant l'hiver.

En général le climat canadien exige plus de chauffage que de climatisation. Au premier abord, l'installation de vitrages à GSÉ semble être le choix logique. Cependant, à cause du coût croissant de l'électricité consommée pendant la saison de climatisation et des charges électriques de pointe enregistrées pendant les chauds après-midis d'été, les avantages que procure le vitrage à GSF pendant la saison de climatisation gagnent en importance. De nombreux autres

Facteurs influençant les économies

Le réglage du thermostat de la maison, le choix de climatiser ou non pendant l'été, l'orientation de la maison, et les dimensions des fenêtres et le choix des dispositifs pare-soleil ne sont que quelques-uns des facteurs influençant les économies d'ensemble. De plus, le climat régional et le coût de l'énergie utilisée pour le chauffage (électricité, mazout, gaz naturel ou propane) jouent un rôle important dans la détermination du montant des économies réalisables par l'utilisation des vitrages perfectionnés.

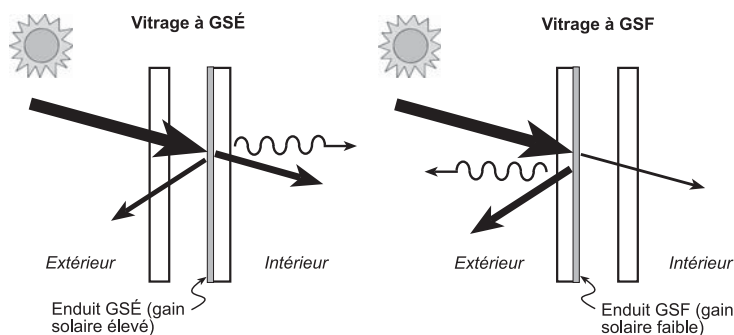


Figure 1. Vitrages à gain solaire élevé (GSÉ) et à gain solaire faible (GSF)

facteurs influent sur les économies annuelles permises par le vitrage avec enduit à faible émissivité. Par conséquent, il est difficile de déterminer quel type de vitrage avec enduit à faible émissivité (GSÉ ou GSF) permet aux Canadiens de faire les économies (coûts et énergie) les plus importantes.

Pour pouvoir répondre à cette question pour un cas précis, les chercheurs du Centre canadien des technologies résidentielles (CCTR), situé à Ottawa, ont comparé des maisons jumelles complètes pourvues de deux différents types de vitrages. Par la suite, ils ont utilisé les résultats pour étalonner des modèles permettant d'évaluer le rendement du vitrage dans divers endroits au Canada et dans différentes circonstances.

L'expérience

En 2006, un vitrage à GSF et un vitrage à GSÉ ont été comparés dans les maisons jumelles du CCTR (figure 2). La comparaison a eu lieu pendant un mois d'été et un mois d'hiver. Une maison était entièrement pourvue de vitrages à GSF et l'autre, de vitrages à GSÉ. Cela a permis aux chercheurs d'évaluer l'effet du vitrage sur l'ensemble



Figure 2. Le Centre canadien des technologies résidentielles est exploité conjointement par le CNRC, la Société canadienne d'hypothèques et de logement et Ressources naturelles Canada.

de la maison, notamment sur la consommation énergétique liée au chauffage et à la climatisation ainsi que sur les températures des maisons. Les thermostats des deux maisons ont été réglés à 21 °C en hiver et à 26 °C en été.

Les résultats ont indiqué que l'énergie solaire transmise par les fenêtres des deux maisons a eu un effet important sur la consommation énergétique des deux maisons, tant pour le chauffage que pour la climatisation. L'effet était à son maximum lors des journées les plus ensoleillées et, en hiver, l'effet était particulièrement important quand le soleil était bas et le rayonnement solaire frappait le vitrage plus directement. La figure 3 montre le rayonnement solaire transmis par une fenêtre faisant face au sud pendant une journée ensoleillée donnée en

Caractéristiques des fenêtres permettant un rendement énergétique supérieur

Les fenêtres modernes peuvent posséder diverses caractéristiques visant à améliorer leur rendement énergétique. Ces caractéristiques comprennent un vitrage double ou triple, un intercalaire avec « bordures chaudes », présence de gaz entre les vitres (argon, krypton ou mélange des deux) et une variété d'enduits pouvant être appliqués sur le verre. Toutes ces caractéristiques ont pour but l'amélioration de la valeur U de la fenêtre et, donc, la réduction des déperditions de chaleur dues à la fenêtre.

Enduits à faible émissivité. Un enduit à faible émissivité est une mince couche de métal appliquée sur la surface d'une vitre pour en améliorer le rendement énergétique. L'enduit réfléchit les rayons infrarouges (chaleur) à ondes larges du spectre, tout en laissant pénétrer le rayonnement solaire. De cette manière, la chaleur est réfléchie vers l'intérieur de la maison pendant l'hiver (ou vers l'extérieur pendant l'été) et le verre demeure « transparent ». Seule une petite partie du spectre solaire est composée de lumière visible et la manière dont les enduits à faible émissivité traitent la partie « invisible » du spectre solaire peut varier. Un revêtement à GSF réfléchit la majeure partie du spectre solaire, ce qui contribue à limiter le gain solaire au minimum, et un enduit à GSÉ transmet la majeure partie du spectre solaire, avec le gain de chaleur qui l'accompagne. L'emplacement de l'enduit a aussi son importance : un enduit à GSF se trouve normalement sur la vitre extérieure de la fenêtre, pour réfléchir la chaleur vers l'extérieur du bâtiment tandis qu'un enduit à GSÉ est normalement installé sur la vitre intérieure de la fenêtre pour réfléchir la chaleur vers l'intérieur (voir la figure 1).

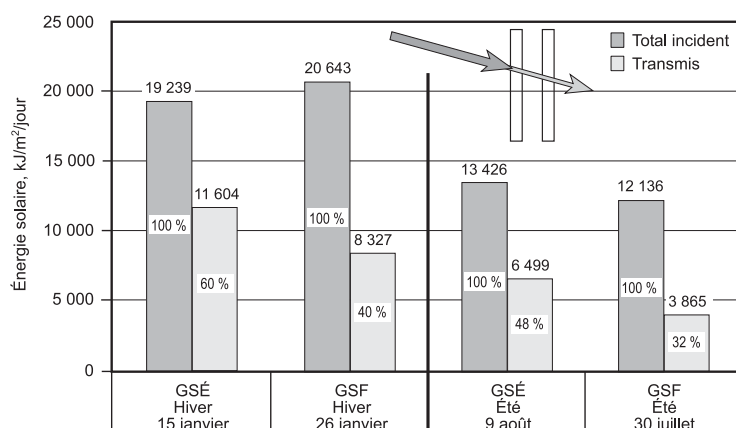


Figure 3. Énergie solaire transmise pendant les journées ensoleillées, lors de l'expérience au CCTR.

hiver et en été. Pendant la journée d'hiver, la maison pourvue de vitrages à GSF a consommé 15 % en moyenne plus de gaz naturel que la maison munie de vitrages à GSÉ, pour compenser pour des gains solaires moindres. Cependant pendant la journée d'été, la maison munie de vitrages à GSF a consommé 20 % en moins d'électricité pour la climatisation, comparativement à la maison munie de vitrages à GSÉ.²

Les chercheurs ont utilisé ces résultats pour prédire le rendement énergétique des deux types de vitrages avec enduit à faible émissivité pour différents endroits au Canada. Dans les modèles, les deux types de vitrage ont aussi été comparés à un

vitrage classique (vitrage double clair avec espace d'air).

Douze villes, dix au Canada et deux aux États-Unis, représentant différentes zones où les conditions climatiques vont de « très froid » à « chaud et humide », ont été choisies pour évaluer les effets de trois types de vitrages. Le tableau 1 fournit des données sur les degrés-jours de chauffage, les zones climatiques ainsi que le prix de l'électricité et des principaux combustibles de chauffage utilisés à ces endroits.

Les propriétés des fenêtres et des trois types de vitrages (GSF, GSÉ et classique) sont décrites dans le tableau 2. Même si le vitrage à GSF possède une valeur U inférieure (meilleure) à celle du vitrage à GSÉ, le coefficient de gain de chaleur solaire (CGCS) du vitrage à GSÉ lui donne une meilleure cote de rendement énergétique (voir l'encadré). D'après ces propriétés, les vitrages à GSF et GSÉ utilisés dans le cadre de l'expérience sont conformes aux exigences d'ENERGY STAR® pour les zones A (côte ouest, tempéré) et B (chauffage modéré), alors que seuls les vitrages à GSÉ sont conformes aux exigences des zones C et D (chauffage élevé), compte tenu de leur cote de rendement énergétique.

Principales mesures du rendement énergétique des fenêtres et programme ENERGY STAR®

Le rendement thermique d'une fenêtre peut être exprimé de plusieurs manières différentes.

- **Valeur U.** Mesure du taux de transfert thermique à travers une fenêtre. Une valeur U peu élevée est souhaitable, car elle indique une faible perte thermique en hiver et un faible gain thermique en été. La valeur U est l'inverse de la valeur R.
- **Coefficient de gain de chaleur solaire (CGCS).** Mesure de la fraction du rayonnement solaire incident transmis par une fenêtre. Comprend le rayonnement transmis directement et le rayonnement absorbé et transmis à l'intérieur ultérieurement. Le CGCS est exprimé par un chiffre compris entre 0 et 1. Plus le CGCS de la fenêtre est élevé, plus le gain solaire transmis à l'intérieur du bâtiment est élevé.
- **Rendement énergétique (RE).** Mesure du rendement énergétique général de la fenêtre incorporant la perte de chaleur par transmission thermique, le gain solaire et la perte de chaleur par fuite d'air. Plus la cote de rendement énergétique est élevée, meilleur est le rendement énergétique de la fenêtre en saison de chauffage.³

Au Canada, le programme ENERGY STAR® est un accord volontaire entre l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada et les organisations qui construisent, fabriquent, vendent ou promeuvent des produits ou des habitations neuves conformes aux niveaux de rendement énergétique d'ENERGY STAR®. Le symbole ENERGY STAR® aide les consommateurs à trouver rapidement et facilement des produits permettant d'économiser de l'énergie. Pour être conformes aux exigences d'ENERGY STAR®, les portes et fenêtres doivent posséder une valeur U maximale ou une cote de rendement énergétique (RE) minimale pour chacune des quatre zones climatiques canadiennes.⁴ Les exigences auxquelles doivent répondre les produits pour être conformes au programme ENERGY STAR® au Canada figurent au tableau 3. Plus de 90 000 produits de fenestration sont inclus dans la banque de données canadiennes d'ENERGY STAR® et en respectent les exigences. Plus de 98 % de ces produits sont munis d'un enduit à faible émissivité.

Tableau 1. Prix du gaz et de l'électricité (moyenne pour la période comprise entre novembre 2006 et février 2007).

Ville	Degrés-jours de chauffage (sous 18 °C)	Zone	Prix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage		Climatisation (électricité) \$/kWh
Villes canadiennes					
Halifax, N.-É.	4 367	B	0,836	\$/L (mazout)	0,099
Montréal, Qc	4 575	B	0,062	\$/kWh (électricité)	0,062
Québec, Qc	5 202	B	0,062	\$/kWh (électricité)	0,062
Ottawa, Ont.	4 600	B	0,5092	\$/m ³ (gaz naturel)	0,086
Toronto, Ont.	4 066	B	0,5092	\$/m ³ (gaz naturel)	0,092
Winnipeg, Man.	5 785	C	0,4931	\$/m ³ (gaz naturel)	0,061
Calgary, Alb.	5 108	B	0,3997	\$/m ³ (gaz naturel)	0,082
Edmonton, Alb.	5 708	C	0,3997	\$/m ³ (gaz naturel)	0,082
Vancouver, C.-B.	2 927	A	0,4781	\$/m ³ (gaz naturel)	0,062
Victoria, C.-B.	3 041	A	0,4781	\$/m ³ (gaz naturel)	0,062
Villes américaines					
New York, NY	2 641		0,55	\$/m ³ (gaz naturel)	0,143
Miami, FL	83		0,55	\$/m ³ (gaz naturel)	0,086
Les coûts unitaires sont indiqués dans la monnaie du pays où la ville est située (p. ex., les données relatives aux villes américaines sont en dollars américains). Les prix des sources d'énergie sont fournis par le <i>Guide statistique de l'énergie</i> ⁶ , publié tous les trimestres au Canada, et par la <i>United States Energy Information Administration</i> ⁷ .					

Tableau 2. Propriétés des fenêtres utilisées dans le cadre de l'expérience

Fenêtre	Coefficient de transmission de chaleur du vitrage (CGCS)	Valeur U de la fenêtre W/(m ² K)	Cote de rendement énergétique (RE)
GSF	0,33	1,62	23,6
GSÉ	0,52	1,76	31,3
Classique*	0,69	2,89	14,4
*Vitrage double clair avec espace d'air (modélisation seulement).			

Tableau 3. ENERGY STAR® – Exigences canadiennes en matière de fenêtres⁴

Zone	Degrés-jours de chauffage (sous 18 °C)	Valeur U maximale* W/(m ² K)	Cote de rendement énergétique minimale (RE)*
A	< = 3 500 DJC	2,0	17
B	> 3 500 à < = 5 500 DJC	1,8	21
C	> 5 500 à < = 8 000 DJC	1,6	25
D	> 8000 DJC	1,4	29
*Une fenêtre est admissible si sa valeur U ou son RE répond aux critères.			

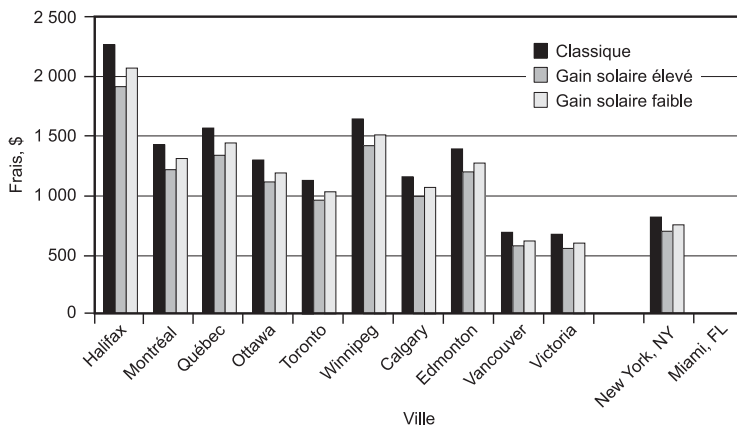


Figure 4. Frais annuels de chauffage pour différentes villes nord-américaines (frais représentés dans la monnaie du pays où la ville se trouve)

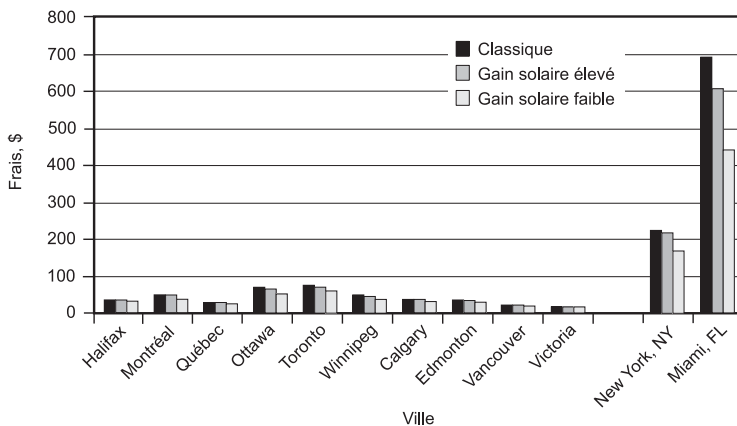


Figure 5. Frais annuels de climatisation pour différentes villes nord-américaines (frais représentés dans la monnaie du pays où la ville se trouve)

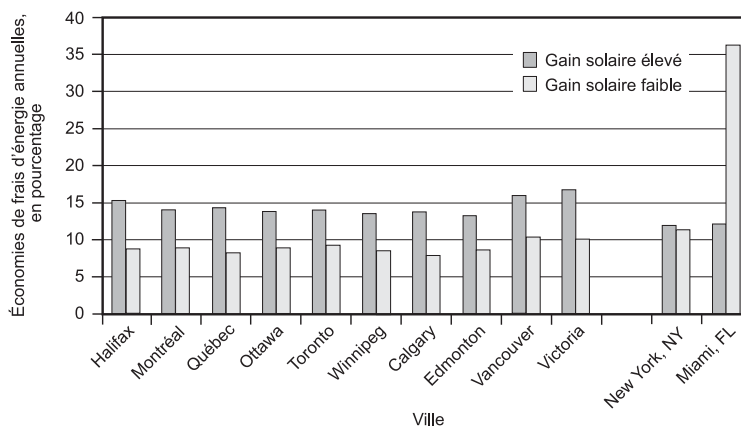


Figure 6. Économies de frais d'énergie annuelles par rapport au verre clair classique

Les vitrages à verre clair classiques possèdent un CGCS supérieur. Autrement dit, ils permettent un gain solaire supérieur à celui du vitrage avec enduit à faible émissivité, mais ils laissent davantage de chaleur s'échapper. Par conséquent, ils ne répondent pas aux critères du programme ENERGY STAR®.

Éléments à considérer pour le choix d'un vitrage

L'expérience et les études de modélisation ont débouché sur des lignes directrices pour la sélection du bon type d'enduit à faible émissivité, afin d'obtenir le meilleur rendement énergétique possible.

GSÉ pour la saison de chauffage. Pendant la saison de chauffage, les deux types de vitrage avec enduit à faible émissivité ont permis une consommation d'énergie moindre qu'un vitrage clair. Comme le vitrage à GSÉ permet des gains solaires supérieurs à ceux du vitrage à GSF, une habitation pourvue de vitrages à GSÉ requiert moins de chauffage pendant les journées ensoleillées et, de ce fait, consomme moins d'énergie pendant la saison de chauffage. La figure 4 montre les frais de chauffage pour différents endroits en Amérique du Nord.

GSF pour la saison de climatisation. Pendant la saison de climatisation, les deux types de vitrage avec enduit à faible émissivité ont permis une consommation d'énergie moindre qu'un vitrage clair. Cependant, comme le vitrage à GSF réduit le gain solaire plus que ne le fait le vitrage à GSÉ, la charge de climatisation d'une habitation pourvue de vitrage à GSF est inférieure à celle d'une habitation avec vitrage à GSÉ pendant les journées ensoleillées et la quantité d'énergie consommée pour sa climatisation est inférieure. La figure 5 montre les frais de climatisation pour différents endroits en Amérique du Nord.

Il est très improbable que les propriétaires d'habitations veuillent changer leur vitrage (d'un vitrage à GSÉ vers un vitrage à GSF et vice versa) deux fois par année afin de profiter des avantages des deux types de vitrage. Par conséquent, il est important de choisir le type de vitrage permettant d'obtenir les économies d'énergie les plus importantes pour une année entière. Pour ce faire, il ne suffit pas de déterminer si le climat nécessite plus de chauffage que de climatisation ou non, car d'autres facteurs,

Degrés-jours de chauffage

Les degrés-jours de chauffage sont une mesure de la rigueur de l'hiver. Un degré-jour correspond au nombre de degrés sous la barre des 18 °C auquel se trouve la température moyenne à un endroit pour une journée donnée. Le nombre total de degrés-jours de chauffage pour cet endroit est calculé en additionnant l'ensemble des degrés-jours de l'année. Plus le nombre total de degrés-jours de chauffage est grand, plus l'hiver est froid et plus les besoins en matière de chauffage sont élevés à l'endroit visé.

comme le fonctionnement de la maison (voir la section *Fonctionnement de la maison* ci-dessous) et le type d'installation de chauffage, ont aussi un rôle à jouer.

Climat (degrés-jours de chauffage). Généralement, dans les endroits où il y a plus de 3 000 degrés Celsius-jours de chauffage (ce qui comprend presque tout le Canada), le vitrage à GSÉ offre le meilleur rendement énergétique global. Par contre, dans le sud des États-Unis, où le

climat est plus chaud, ce titre revient au vitrage à GSF (consulter la figure 6 pour voir les économies pour divers endroits au Canada et dans quelques endroits aux États-Unis). Le cas de la ville de New York est particulièrement intéressant : à cet endroit, les frais liés au chauffage et à la climatisation sont égaux. Autrement dit, à New York, les deux types de vitrage avec enduit à faible émissivité permettent les mêmes économies de coûts annuelles. Évidemment, ces deux types de vitrage sont plus avantageux que le vitrage à verre clair classique.

Type d'énergie pour le chauffage. Plus les frais de chauffage sont élevés, plus il est avantageux de réduire les charges de chauffage en installant des fenêtres avec vitrage à GSÉ. Par exemple, même si, à Halifax, les charges de chauffage ne sont pas les plus importantes de tous les endroits inclus dans la modélisation, c'est à Halifax que les frais de chauffage sont les plus élevés. Par conséquent, c'est à cet endroit que l'utilisation de vitrages à GSÉ est la plus avantageuse.

Au Québec, où le chauffage et la climatisation se font principalement à l'électricité, l'utilisation de vitrages à GSÉ ou à GSF entraînent des économies d'énergie qui se traduisent directement en une réduction des frais d'énergie. Là où les appareils de chauffage fonctionnent avec une source d'énergie autre que l'électricité, les frais de

chauffage sont faibles comparativement aux frais de climatisation. Dans ce cas, les économies des frais de chauffage entraînées par l'utilisation de vitrages à GSÉ sont réduites et les économies des frais de climatisation par l'utilisation de vitrages à GSF gagnent en importance.

Fonctionnement de la maison. La température à laquelle on règle le thermostat (valeur de réglage), l'utilisation d'un moyen de climatisation gratuit (ouverture des fenêtres pour profiter des journées et des nuits fraîches en été) ainsi que les appareils de chauffage et de climatisation choisis sont autant de facteurs ayant un effet sur les économies. Par exemple, si une maison n'est pas climatisée, seule l'énergie consommée pour la chauffer est considérée pour déterminer son rendement énergétique annuel. Dans un tel cas, il est préférable de choisir le vitrage à GSÉ, qui fournit un gain solaire supérieur en hiver et réduit l'énergie requise pour le chauffage. Dans cette situation, il peut être nécessaire d'installer des dispositifs pare-soleil afin de garder une température confortable pendant l'été.

Température dans la maison. Puisque le vitrage à GSÉ permet d'obtenir un gain solaire supérieur à celui du vitrage à GSF, la température dans les pièces pourvues de fenêtres orientées vers le sud peut être supérieure. Dans l'expérience au CCTR, pendant les journées d'hiver ensoleillées, les températures mesurées à mi-hauteur dans les pièces pourvues de fenêtres à GSÉ orientées vers le sud étaient jusqu'à 3,8 °C plus élevées que celles prises dans les pièces munies de fenêtres à GSF. Pendant l'été, l'effet était plus discret (une augmentation de température de 1 °C, à mi-hauteur dans la pièce), car, à cette période de l'année, le soleil est haut dans le ciel et le système de climatisation contribue au maintien d'une température convenable. Les deux types d'enduit à faible émissivité ont permis un gain solaire inférieur à celui du verre clair. Même si le vitrage à GSÉ semble contribuer à la surchauffe des pièces (c.-à-d., température de la pièce au-dessus de la valeur de réglage) en hiver, les températures mesurées dans les pièces pendant l'été et l'hiver sont inférieures à celles qui auraient été observées avec un vitrage clair.

Utilisation des dispositifs pare-soleil avec vitrage à enduit à faible émissivité. Dans presque tous les endroits évalués au Canada, le vitrage à GSÉ a permis d'obtenir les économies énergétiques et de frais annuelles les plus substantielles. Cependant, c'est en été que la demande d'électricité culmine. Le remplacement du vitrage GSÉ par un vitrage GSF (et vice versa) deux fois par année n'est pas pratique. Il existe cependant d'autres moyens de limiter le gain solaire et la consommation d'énergie pendant l'été. C'est pourquoi il est important de considérer la combinaison de vitrages avec un enduit à faible émissivité à GSÉ et des dispositifs pare-soleil.

Les expériences menées au CCTR sur les dispositifs pare-soleil ont établi que la combinaison de stores vénitiens intérieurs ordinaires et de vitrage à GSÉ n'a pas d'effet significatif sur la consommation d'énergie pour climatiser l'habitation. Cependant, les dispositifs pare-soleil extérieurs peuvent réduire la quantité d'énergie consommée pour climatiser l'habitation pendant les journées ensoleillées dans une proportion pouvant aller jusqu'à 26 %⁵. Les moyens d'y arriver sont nombreux : par exemple, on peut se servir de stores, de volets, des éléments architecturaux de façade conçus à cet effet, fournissant de l'ombre pendant l'été et permettant des gains solaires pendant l'hiver, ou d'arbres à feuilles caduques stratégiquement disposés.

Combinaisons de vitrage et d'orientation. Même si l'étude au CCTR considérait que toutes les fenêtres de la maison étaient pourvues du même type de vitrage, différentes combinaisons de vitrages peuvent permettre d'économiser plus d'énergie. Habituellement, dans un climat exigeant plus de chauffage que de climatisation, un vitrage à CGCS élevé (c.-à-d., vitrage à GSÉ) utilisé sur la façade sud de la maison permet de maximiser les gains solaires. Par contre pour la façade nord de la maison, un vitrage offrant le meilleur rendement thermique en saison de chauffage sera plus avantageux. Il faut donc préférer un vitrage offrant un rendement thermique élevé (c.-à-d. une valeur U basse). Si on choisit d'installer plus d'un type de vitrage, il faut

s'assurer, pendant la construction, d'étiqueter correctement l'emplacement et l'orientation de chaque fenêtre afin qu'elles soient installées comme il se doit.

Résumé

Les vitrages à GSF et GSÉ permettent tous deux d'obtenir plus d'économies d'énergie que les vitrages à verre clair classiques. Par contre, les économies obtenues en utilisant le vitrage à GSÉ ont été les plus substantielles à Ottawa et dans tous les autres endroits canadiens modélisés. On estime que le vitrage à GSÉ permet d'obtenir des économies combinées (frais de chauffage et de climatisation) comprises entre 13 % et 17 % dans les endroits modélisés se trouvant en territoire canadien. De son côté, le vitrage à GSF produit des économies comprises entre 8 % et 10 %, si on compare leur rendement à celui des vitrages classiques.

Les économies dépendent largement du prix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage et de la distribution de la surface vitrée sur les différentes façades de la maison (orientation). Plus les frais de chauffage sont élevés, plus la réduction des charges de chauffage que permet l'installation d'un vitrage à GSÉ est prononcée. Cependant, le vitrage à GSF est le plus efficace pour réduire les charges de climatisation pendant l'été, soit la période où la demande d'électricité culmine. La plus efficace des méthodes de réduction de la quantité d'énergie nécessaire pour le chauffage et la climatisation tirant parti des technologies de vitrage actuelles pourrait être de combiner l'utilisation d'un vitrage à GSÉ et de dispositifs pare-soleil extérieurs afin d'améliorer le rendement énergétique global du bâtiment.

Bibliographie

1. Ressources Naturelles Canada. 2002. *Technical analyses of Canadian ENERGY STAR options for windows, skylights and exterior doors*. Rapport préparé pour l'Equipment Standards and Labelling Group, Ressources naturelles Canada.
2. Swinton, M.C.; M.M. Manning; A.H. Elmahdy; A. Parekh; C. Barry et F. Szadkowski. *Field assessment of the effect of different spectrally selective low emissivity glass coatings on the energy consumption in residential application in cold climates*. 11^e Conférence canadienne sur la science et la technologie (Banff, Alberta, 22 mars 2007), pp. 1-16, 22 mars 2007 (NRCC-49481). <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/nrcc49481/>
3. *Guide du consommateur – L'achat de portes et fenêtres à bon rendement énergétique*. Publications Éconergie, Office de l'efficacité énergétique, Ressources naturelles Canada, Gatineau, Québec, Décembre 2004. http://www.oe.nrcan.gc.ca/Publications/infosource/pub/renovate_f/fenetres_etportes/fenetres-portes.pdf
4. *Critères de qualification ENERGY STAR® des portes, fenêtres et puits de lumière résidentiels vendus au Canada*. Version 2.0, Ressources naturelles Canada, 1^{er} avril 2005. <http://oe.nrcan.gc.ca/energystar/francais/pdf/spec-tech-manufacturiers.pdf>
5. Galasiu, A.D.; C.F. Reinhart; M.C. Swinton et M.M. Manning. 3 mai 2005. *Assessment of Energy Performance of Window Shading Systems at the Canadian Centre for Housing Technology*. Rapport de recherche, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, (196), p. 21. (RR-196) <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/rr/rr196/>
6. Statistique Canada, 2007. *Guide statistique de l'énergie – Avril 2007*. Statistique Canada, Ottawa. US-EIA 2007.
7. US-EIA 2007. United States Energy Information Administration. *Summary of Residential Utility Costs*. www.eia.doe.gov

Partenaires du projet

Pilkington North America

Ressources naturelles Canada

CCTR: exploité conjointement par le CNRC, la Société canadienne d'hypothèques et de logement et Ressources naturelles Canada

M^{me} M.M. Armstrong est agente du Conseil de recherches au sein du programme Enveloppe et structure du bâtiment à l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches du Canada.

M. M.C. Swinton et M. A.H. Elmahdy, Ph. D., sont agents de recherche principaux au sein du même programme.

M. A. Parekh est chercheur senior au sein du Groupe des bâtiments et collectivités durables de Ressources naturelles Canada.

© 2008
Conseil national de recherches du Canada
Novembre 2008
ISSN 1206-1239